

Family 금형의 충전 밸런스를 위한 실험적 연구

박형필^{1,2,*}, 차백순¹, 이병옥²

An experimental study for the filling balance of the family mold

H. P. Park, B. S. Cha, B. O. Rhee

Abstract

It is well known that the family-mold has an advantage to reduce the cost for production and mold. However, defects are frequently occurred by over packing the smaller volume cavity during molding, especially when the family-mold has a volumetric difference between two cavities. In this study, we confirmed the cavity-filling imbalance by the temperature and the pressure sensors, and developed a variable-runner system for the cavity-filling balance. We carried out experiments for balancing the cavity filling in the family-mold with the variable-runner system, and confirmed a balanced cavity-filling through analyzing the temperature and pressure change in each cavity as the cross-sectional area of the runner changed. We also examined the influence of the injection-speed to the balancing-capability of the variable-runner system in the experiment.

Key Words : Family mold, Filling Balance, Variable Runner, Cavity Pressure Sensor, Cavity Temperature Sensor, Closed Loop Control, Injection speed

1. 서 론

금형은 제품 배치 및 방식에 따라 싱글 캐비티(single cavity), 멀티 캐비티(multi cavity), 패밀리(family) 방식으로 나뉘며, 일반적으로는 다수 캐비티 금형이 사용된다. 요즘과 같이 소비자 성향에 따른 제품의 변화 주기가 빠른 시장에서는 제품 생산을 위한 여러 별의 금형을 만드는 것은 제품 단가의 상승 요인이 되기 때문에 다른 방식의 금형 제작이 필요한 것이다.

Family 금형은 최종 제품을 구성하는 각각의 부품을 1 회의 공정으로 하나의 금형에서 생산하는 방법이다. 하지만 이 방식은 제품의 형상 및 크기가 다르기 때문에 제품 성형에 있어서 각각의 캐

비티에 균일한 압력이 전달되지 않고 상대적으로 체적이 작아 먼저 충전 되어진 캐비티로 높은 압력이 발생하여 제품에 플래쉬(flash) 및 휨(warpage) 등의 불량 발생 하는 문제가 있다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 지금까지는 CAE를 통하여 충전 불균형을 미리 예측하고 균일 충전을 위하여 수치적으로 러너의 직경 및 게이트 크기 조절을 통하여 각각의 캐비티 밸런스를 계산하였다[1]. 금형 설계자는 이 데이터를 금형 설계 및 제작에 반영하였으나, 이와 같은 방법으로는 정확한 흐름균형을 이룰 수는 없었다.

충전 불균형의 원인은 크게 성형측면과 가공측면 두 가지로 볼 수 있다. 성형측면에서는 실제 금형 내부의 수치 흐름이 수치온도, 사출속도, 금형온도 등의 여러 요인에 따라 그 차이가 발생되게 된다. 이러한 이유로 사출성형 해석을 통하여 이루어진 유동 밸런스와 차이가 나타나게 된다. 가공측면에서는 금형가공시에 발생하는 가공상의

1. 한국생산기술연구원 정밀금형팀
교신저자 : 한국생산기술연구원 정밀금형팀
E-mail : php76@kitech.re.kr
2. 아주대학교 기계공학과

오차로 인하여 이론적으로 설계된 치수로 정확히 가공되지 않기 때문에 품질의 균일성을 실질적으로 확보하기는 어려운 실정이다. 이런 점에서 성형품의 불량은 사출성형의 대표적 불량 현상인 플래쉬 발생이 빈번하여, 이를 제거하기 위한 후처리 공정이 추가되어 제품 단가의 상승요인이 되었다. 또한, 플래쉬 발생을 줄이기 위한 성형 조건 변화 시에는 미충전이 발생하여 오히려 불량이 더 많이 발생하는 실정이었다.

캐비티 내부의 현상을 규명하기 위한 연구는 오래 전부터 지금까지도 활발히 연구되고 있지만 충전 불균형에 관한 연구는 1990년대 후반부터 연구가 진행되었다. 특히 충전불균형의 문제 해결을 위한 연구 및 특허를 가지고 있는 Beaumont는 멀티 캐비티의 충전 불균형 현상이 러너 시스템을 흐르는 수지가 각각의 캐비티로 분기되면서 발생하는 관성의 효과로 흐름 중심부가 변화하여 불균형이 발생되고 이를 해결하기 위한 방법으로 러너에 와류를 형성할 수 있는 장치를 통한 불균형을 해소를 연구 하였다[2].

Coulter는 러너에 밸브 시스템을 적용하여 실시간으로 캐비티 압력, 온도, 충전시간 등을 측정하고, 멀티 캐비티 내부의 충전 제어 및 제품 품질 향상에 관한 연구를 하였다[3].

그러나, 지금까지의 연구에서의 충전 균형 해결을 위한 장치들은 사용에 제약이 있으며 복잡한 장비 구성으로 인하여 현장에서는 사용하기 어려운 부분이 있었다.

또한, 현재까지는 충전균형에 관한 연구가 멀티 캐비티 금형에 국한 되었으며 패밀리 금형의 충전균형에 관한 연구는 이루어지지 않았다. 지금까지 산업현장에서는 경험 및 사출성형해석을 통한 러너 및 게이트의 적정 크기를 알아본 후에 이를 금형에 반영하여 러너 설계를 수행하였다. 따라서 충전불균형으로 인한 불량현상이 발생했을 경우 Trial & error를 통해 금형의 러너를 추가적으로 가공하여 충전 불균형을 해결하였기 때문에 많은 시간과 비용이 들어갈 수밖에 없었다.

따라서 이와 같은 문제점을 개선하기 위하여 본 연구에서는 압력 및 온도 센서를 이용하여 육안으로 확인 할 수 없었던 금형 내부의 수지 흐름을 압력 및 온도 센서를 이용하여 확인하고, 패밀리 금형의 충전밸런스를 맞추기 위하여 선행 연구보다 진보된 가변러너를 이용한 금형 내부의 충전 밸런싱을 실험 목표로 하였다

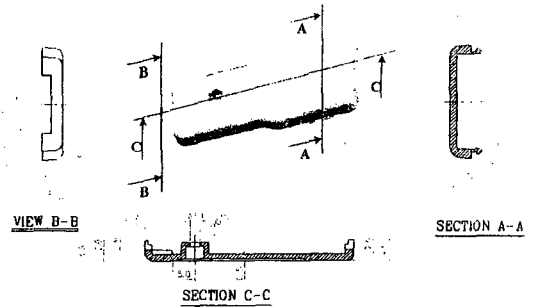


Fig. 1 The shape and dimension of small product.
(Index : Small)

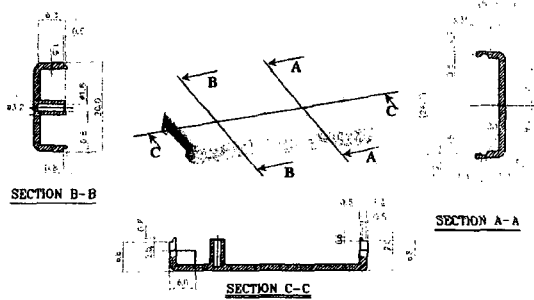


Fig. 2 The shape and dimension of large product.
(Index : Large)

2. 실험

2.1 실험장비

실험금형은 2 개의 캐비티를 가지는 패밀리 금형으로 Fig. 1과 Fig. 2의 두 제품이 결합하여 하나의 완제품을 형성하도록 되어있다. 제품에는 나사 체결을 위한 보스와 후크를 형성하고 있다. 또한, 성형품의 후처리 공정을 고려하여 서브마린 게이트를 적용함으로써 제품과 게이트가 취출시에 자동적으로 분리되도록 하였으며, 성형품 외관에 게이트 절단자국이 남지 않도록 하기 위하여 금형내부에 2 차 러너를 설치하고 서브마린 게이트를 2 차 러너 말단부에 접속시켜 간접주입 시키도록 구성되어 있다.

각각의 캐비티 내부의 정보를 얻기 위하여 Priamus사의 압력(Type 6001B) 및 온도(Type 4001A)센서를 사용하였으며, 이를 위하여 금형 캐비티의 고정축에 센서홀을 가공하였다. 본 실험

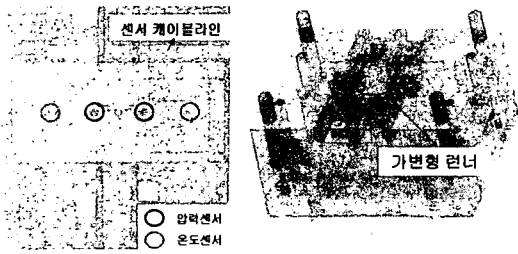


Fig. 3 3D family mold design for pressure and temperature sensor installation.

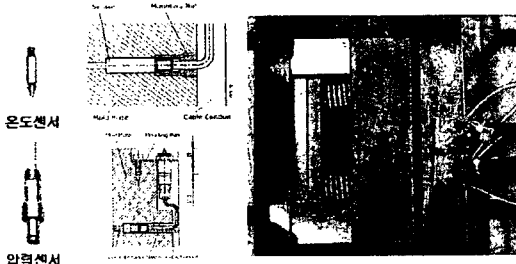


Fig. 4 Photo of family mold after temperature & pressure sensor installation.

금형은 기존에 센서의 위치를 고려하지 않고 금형제작을 하였기 때문에 가동측에 센서 장착을 위한 공간이 이젝터 핀(ejector pin) 위치로 인하여 제약을 받게 되었다. 따라서 구조상 제약이 없는 고정측으로 센서를 설치하였으며, 실제 현장 적용에서는 제품의 외관 품질에 영향을 주는 고정측으로의 센서 설치하는 피하는 것이 좋다(Fig. 3 - 4).

센서의 캐비티 내부 설치 위치를 살펴보면, 압력센서는 캐비티 내부 변화의 많은 정보를 얻을 수 있도록 게이트 근처에 설치 하였으며, 온도 센서는 금형의 표면온도 측정, 수지의 충전현상 감지, 자동보압절환을 위하여 각 캐비티의 98%위치에 설치하도록 하였다(Fig. 5). 온도센서의 경우 압력 센서 보다 응답속도가 빠르기 때문에 본 연구에서 가장 많이 활용하도록 하였다[4, 5, 6, 7].

캐비티 내부에 충전되는 수지흐름을 제어하기 위하여 일부 러너영역을 포켓가공을 하고, 가공된 러너 영역을 인서트 방식의 러너로 대처하였다. Fig. 6 에는 인서트 러너의 형상과 러너의 단면적을 쉽게 조절할 수 있는 $\varnothing 2.5$ 의 가변러너 핀이 설치된 위치 및 단면도를 나타내고 있다. 가변러너 핀에는 피치(pitch) 0.6 의 나사산을 가공하였다. 그 이유는 나사의 원리를 이용하여 회전에 따른

직선운동거리를 쉽게 제어 함으로써, 단면조절에

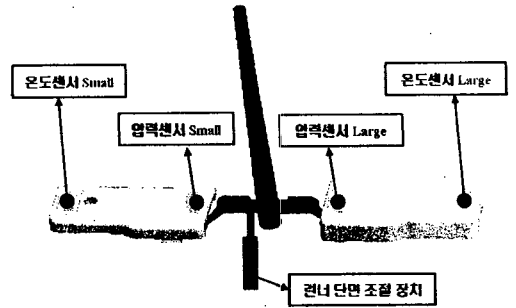


Fig. 5 Measurement position.

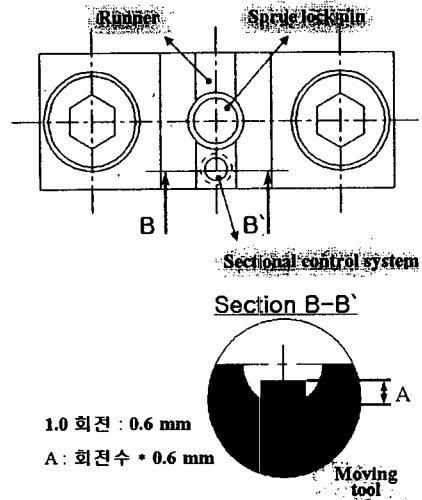


Fig. 6 2D drawing of variable runner.

따른 변화를 쉽게 계산하기 위함 이었으며, 이 방식을 본 실험에 적용하였다.

2.2 사출성형실험

실험에 앞서 사출성형기 제어부의 전기신호와 Priamus 사의 Multi DAQ(Type 8101B) 장비와 연동하기 위한 작업을 수행하였다. 이것은 Multi DAQ 장비에 24V 의 전원공급, 센서의 신호수집을 위한 사출시작 트리거(trigger) 신호, 그리고 온도센서를 이용한 보압절환을 위한 ON/OFF 신호를 얻기 위해서 이다.

압력센서는 사출시작부터 사출종료까지 신호를 유지한 후 다음 성형에서 초기상태로 신호 수집을 할 수 있도록 센서의 방전(discharge)이 필요하다. Fig. 7 은 압력센서의 초기상태 유지를 위하여

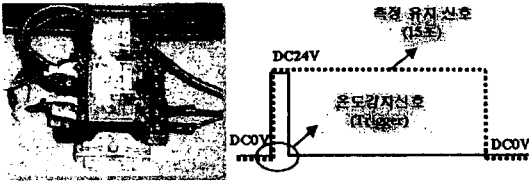


Fig. 7 Schematic of signal gathering equipment.

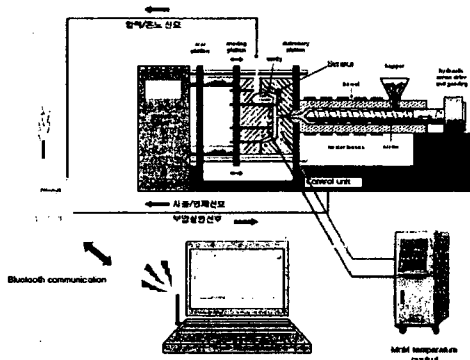


Fig. 8 Schematic of closed loop control system.

설치된 릴레이 장치 및 자동 신호 체계를 간략히 보여주고 있다. 사출성형기는 형폐가 완료된 뒤에 스크류의 전진이 시작되며 사출이 시작된다. 이때 사출기는 사출시작 신호를 그림의 장치를 통해서 Multi DAQ 장비로 트리거(trigger)신호를 보내고 캐비티 내에 설치된 센서로부터 신호를 읽어 들이기 시작한다. 사용된 센서의 응답속도는 온도센서의 경우 4~10 ms 의 응답시간을 보이며, 압력센서는 이보다는 늦은 응답시간을 보인다. 수집되는 데이터는 Multi DAQ 장비와 컴퓨터에 설치된 블루투스(blue tooth) 장치를 통하여 무선통신(radio communication)을 하게 된다. 실시간으로 컴퓨터를 통하여 측정값을 모니터링 및 저장하고, 또한 온도 센서는 캐비티 내부의 수지 유입을 감지 하게 되면, 이 신호를 사출성형기의 제어부로 보내어 보압 절환 신호로 사용하게 된다. 특히 온도센서를 이용하여 보압 절환 신호로 이용할 경우 보압이 걸리는 시점을 일정하게 유지 할 수 있어 변화 요인에 능동적으로 대처 할 수 있다.

따라서, 실질적인 Closed-Loop 제어 시스템 구성을 통하여 신뢰성 있는 실험을 진행하였다. 실험에 사용된 수지는 LG 화학의 ABS HI-121H 수지를 사용하였으며, 금형온도 조절기는 부여 템프

Table 1. Injection molding conditions.

Factor	Unit	Molding condition
Melt temp.	($^{\circ}$ C)	220
Mold temp.	($^{\circ}$ C)	40
Injection speed	(%)	70
Hold pressure	(bar)	45
Holding Time	(sec)	3.0
Cooling Time	(sec)	12.0

콘의 BYTC-101S(semi mold type)를 사용하여 금형온도를 40 도로 유지 하였다. 사출성형기는 자동보압절환기능이 장착된 우진세렉스의 Selex s50 을 사용하였다. Fig. 8 은 전체 시스템 구성도를 보여 주고 있다.

3. 실험 결과 및 고찰

실험에 사용된 패밀리 금형의 충전 불균형을 알아 보기 위해서 미성형 실험을 진행 하였으며, Fig. 9 에 실험 결과를 나타내었다. Fig. 9 의 ⑧, ⑨, ⑩ 사진을 보면 성형품 내부의 충전 흐름이 점선 표시부와 같이 제품의 체적이 작은 성형품이 ⑧ 에서 완료되고 그 이후부터는 과충전이 발생하고 있음을 알 수 있다. 따라서, 미성형 실험에서 나타난 충전 불균형을 해소하기 위하여 과충전이 발생하는 체적이 작은 성형품의 러너 단면적을 조절하여 성형품 내부의 수지 유입 유량을 제어 함으로써, 각 캐비티의 충전 밸런스를 위한 실험을 Table 1 의 성형조건으로 진행 하였다.

또한 충전 밸런스를 이룬 상태에서의 사출성형 조건이 충전 밸런스에 미치는 영향을 알아보았다. 이를 위하여 사출속도만을 20%, 50%, 70%, 90%로 변화하며 실험을 진행하였다.

3.1 러너 단면 조절에 따른 온도변화

러너의 단면을 점차 줄여가며 캐비티 내부의 온도변화를 관찰 하였다. Fig. 10 은 러너의 단면 감소에 따른 캐비티 내부의 온도변화를 보여 주고 있다. 각 캐비티 초기온도 차이는 Fig. 1 과 Fig. 2 에서 보듯이 성형품의 높이가 다르기 때문에, 성형품 표면과 금형에 가공된 냉각채널과의 높이 차이발생으로 일어난 것이다. Fig. 10 (a)에서는 러너 조절이 없을 때로 각 캐비티의 온도센서 감지 시기가 다른 것을 보여 주고 있다. Fig. 10 (a)에서 보듯이 두 캐비티의 충전시간 차이는 0.03 초로, 이

Ⓢ : Small product
 Ⓛ : Large product

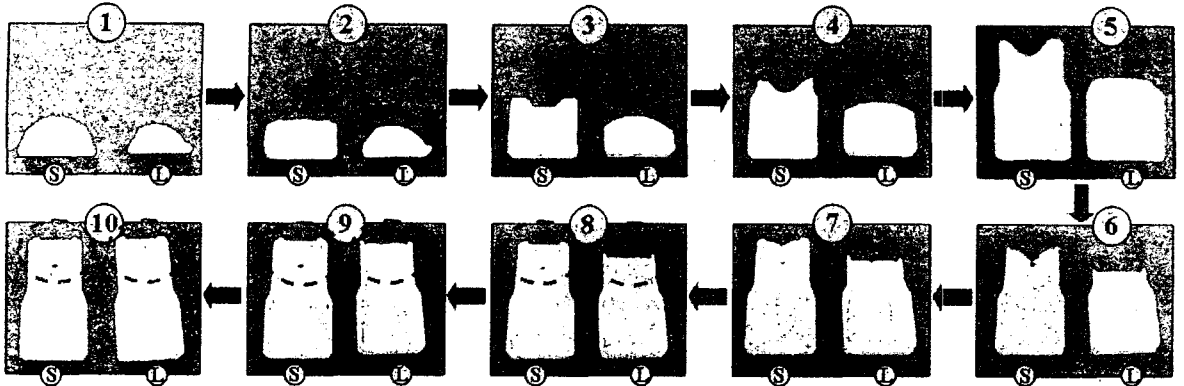
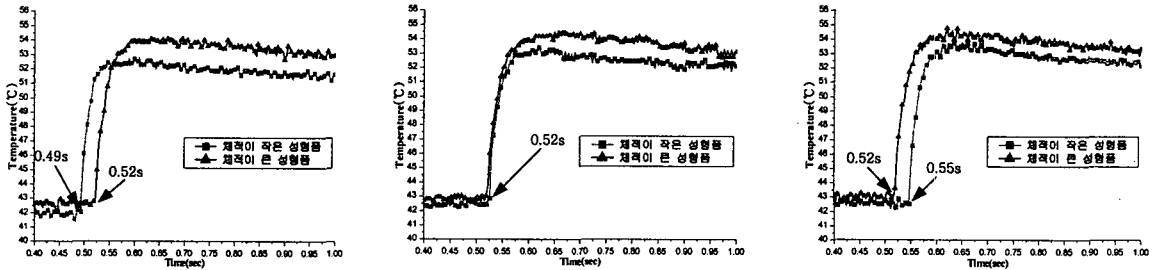


Fig. 9 Short shot experiment of family mold product using ABS.



(a) Rotation 0

(b) Rotation 3.0

(c) Rotation Max.

Fig. 10 Cavity temperature change according to rotation of the variable runner.

Table 2 Temperature measurement value in each variable runner.

Rotation	R0	R0.5	R1.0	R1.5	R2.0	R2.5	R3.0	R3.5	R _{MAX}	
Temp. (°C)	ΔT_{Small}	11.23	11.18	11.23	11.18	11.08	11.33	11.38	11.33	11.57
	ΔT_{Large}	12.11	12.16	11.97	12.06	12.02	12.01	12.12	12.01	12.36

ΔT : Difference of the maximum temperature and initial temperature of sensor.

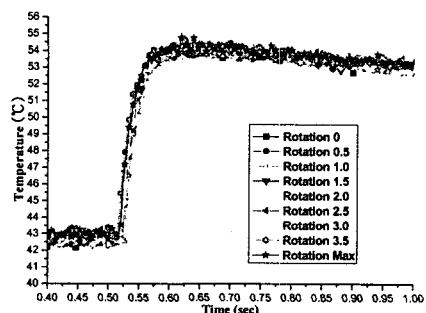
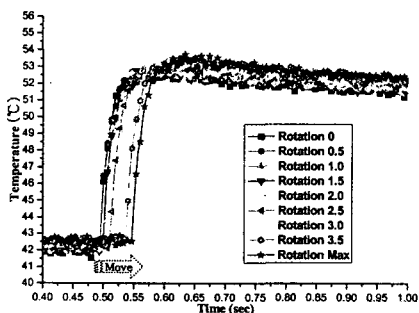


Fig. 11 Temperature measurement data of small cavity.

Fig. 12 Temperature measurement data of large cavity.

것은 제품의 충전완료시간인 약 0.52 초 대비 5.7%를 차지 한다. 이 시간차이 동안 체적이 작은 캐비티에 과충전이 발생 한다. 따라서 각 캐비티의 온도감지 신호를 동시에 맞추기 위하여 러너의 단면적을 순차적으로 줄여가며 실험을 진행 하였다. Fig. 10 (b), (c)는 러너 단면 조절에 따른 캐비티 온도변화의 대표적 현상을 나타낸 그래프이다. Fig. 10(b)는 각 캐비티의 충전 밸런스가 0.52 초에서 이루어 졌음을 보여준다. Fig. 10(c)는 충전 밸런스가 이루어 진 후에 단면 조절을 계속하였을 때의 온도변화를 보여주고 있다.

충전 밸런스 전에는 체적이 작은 성형품의 온도가 먼저 감지 되었지만, 이 후에는 오히려 체적이 큰 성형품의 온도가 먼저 감지 되는 것을 알 수 있었다. 이 현상은 단면 조절을 통하여 체적이 작은 성형품의 유량이 급격히 줄어 들어 일어난 현상으로 판단 된다. 또한 Table 2 에서 보듯이 초기온도와 최대 온도와의 차이가 체적이 큰 성형품에는 크게 나타나지 않지만, 체적이 작은 성형품에는 점차 커짐을 알 수 있었다. 따라서 이 데이터를 통하여 단면 조절에 따른 유량 변화뿐 만 아니라 러너의 단면적 감소로 인하여 국부적인 전단율(shear rate)의 증가로 전단 가열(shear heating)이 발생하여 플라스틱 수지의 점도에 영향을 주었기 때문으로 판단된다.

Fig. 11 은 체적이 작은 성형품의 전체 단면조절에 대한 온도 그래프로써 단면 조절이 진행 될수록 점차 유량이 줄어들어 충전 시간이 길어짐을 알 수 있다. 또한 Fig. 12 의 체적이 큰 성형품의 온도 그래프에서는 체적이 작은 성형품의 유량을 제어한 러너 단면 조절의 영향이 크게 나타나지 않음을 알 수 있다.

3.2 러너 단면 조절에 따른 입력변화

러너 단면 조절에 따른 압력변화를 Fig. 13 에 나타내었다. Fig. 13 (a)를 보면 압력변화가 이단으로 꺾이며 증가하는 것을 볼 수 있다. 이러한 압력변화는 체적이 작은 성형품 내부의 수지 흐름 현상을 잘 보여주며 1, 2, 3 차의 기울기 변화가 발생함을 알 수 있다. 1 차 기울기 변화는 성형품 단면적의 변화로 유동 저항이 발생하여 급격하게 압력이 증가됨을 알 수 있으며, 2 차는 체적이 작은 성형품의 충전이 완료되었음을 보여주고 있으며, 체적이 작은 성형품에 설치된 온도센서에 의해서 자동보압

절환이 일어 났음을 알 수 있다. 체적이 작은 성형품의 2 차 기울기 변화는 보압이 형성되고 있는 시점에서 체적이 큰 성형품에 미충전이 발생하였기 때문에 보압의 영향이 체적이 큰 성형품으로 전달되어 그래프의 파형이 보압 절환 형태의 그래프로 나타나지 않고 사출이 계속되는 선형적 증가 형태로 나타남을 알 수 있다. 따라서 이러한 그래프를 통하여 성형품에 과충전이 걸림을 알 수 있다. 또한, 3 차 기울기 변화는 체적이 큰 성형품의 캐비티에 충전이 완료되어 두 캐비티에 보압이 같이 작용하여 그래프가 유사한 기울기를 가지며 급격하게 증가하는 것을 볼 수 있다. Fig. 10(a)의 온도센서가 수지를 감지한 시점과 Fig. 13(a)의 수지 유입의 감지 후 보압절환시점을 비교해보면 두 센서의 초기 감지 신호 시간이 차이를 보이는데, 이 현상은 캐비티 충전시에 압력센서로의 압력 전달이 Damping 효과로 인하여 그 효과가 반감되었기 때문이다. Fig. 14 와 Fig. 15 는 러너의 단면적을 순차적으로 줄였을 때의 체적이 작은 성형품과 체적이 큰 성형품 캐비티 내부의 압력 측정치를 보여주고 있다. Fig. 14 의 체적이 작은 성형품은 러너단면을 점점 줄였을 때 압력 그래프가 선형적으로 증가하여 1 차 기울기 변화만을 보임을 확인하였다. 이것은 체적이 작은 성형품에 형성되던 과충전이 러너단면조절의 진행으로 점차 해소 되었음을 알 수 있었으며, 이는 캐비티 내부의 수지유동저항이 일정하게 형성되었음을 알 수 있다. 또한 체적이 큰 성형품의 압력은 온도 그래프에서와 마찬가지로 큰 변화가 없음을 알 수 있다. 이것은 러너 단면 조절이 러너 조절이 없는 다른 캐비티에 큰 영향을 미치지 않고 개별적으로 충전을 제어 할 수 있음을 의미한다.

성형품 내부의 과충전 형성을 확인 하기 위하여 성형품 중량을 측정하였다. Table 3 에는 총 10 개의 성형품 중에 5 개의 성형품에 대한 중량평균값을 나타내었다. 충전 밸런스가 이루어진 러너단면조절 Rotation3.0 이후에는 성형품 중량이 안정적으로 형성됨을 알 수 있으며, 충전 밸런싱 전에는 체적이 작은 캐비티에 과충전이 형성되고 있음을 확인하였다. 체적이 작은 캐비티의 Rotation 0 의 과충전 중량과 Rotation 3.0 충전 밸런스 중량 관계를 나타내면 중량 대비 0.44%이다.

따라서 러너 단면 조절이 과충전의 영향과 밀접한 관계를 보이는 불량현상인 플래쉬, 잔류응력,

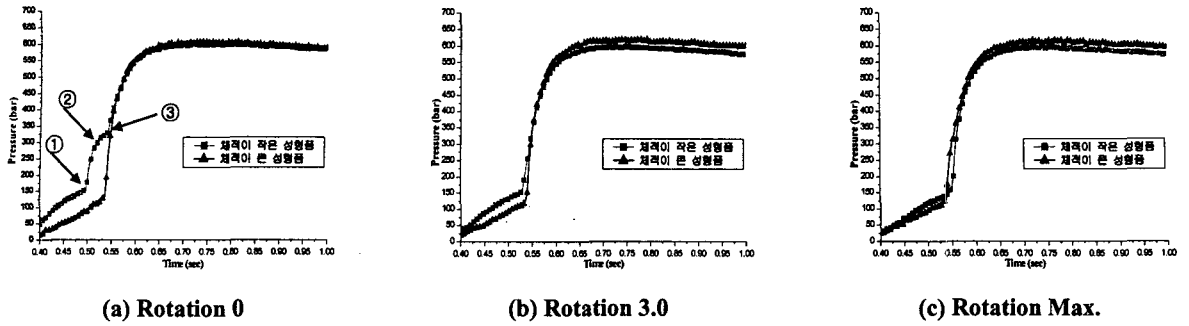


Fig. 13 Cavity pressure change according to rotation of the variable runner.

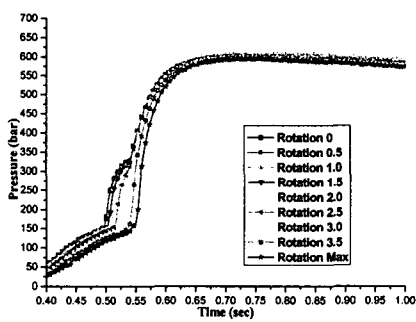


Fig. 14 Pressure measurement data of small cavity.

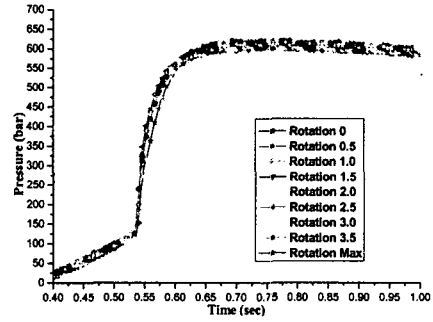


Fig. 15 Pressure measurement data of large cavity.

Table 3 Product weight measurement value in each variable runner.

Rotation		R0	R0.5	R1.0	R1.5	R2.0	R2.5	R3.0	R3.5	R _{MAX}
Weight _{AVG} (g)	Small Product	1.820	1.819	1.819	1.817	1.816	1.815	1.812	1.811	1.812
	Large Product	2.513	2.512	2.513	2.512	2.512	2.513	2.512	2.512	2.512

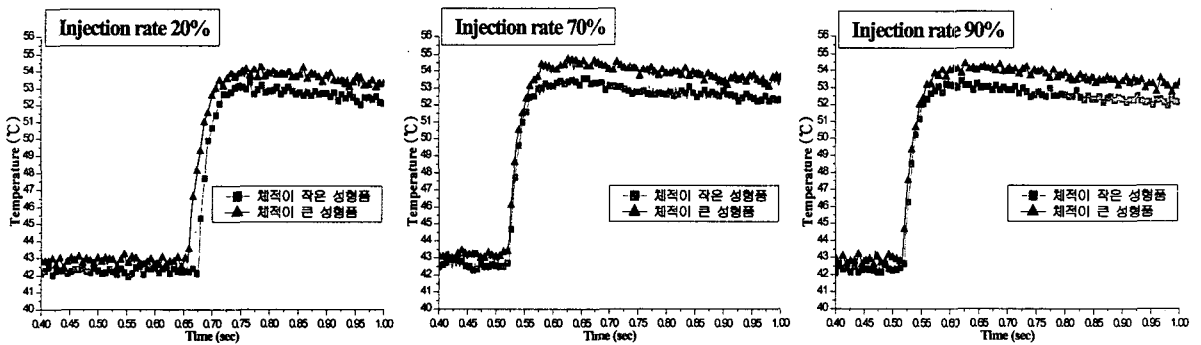


Fig. 16 The cavity temperature change according to injection speed.

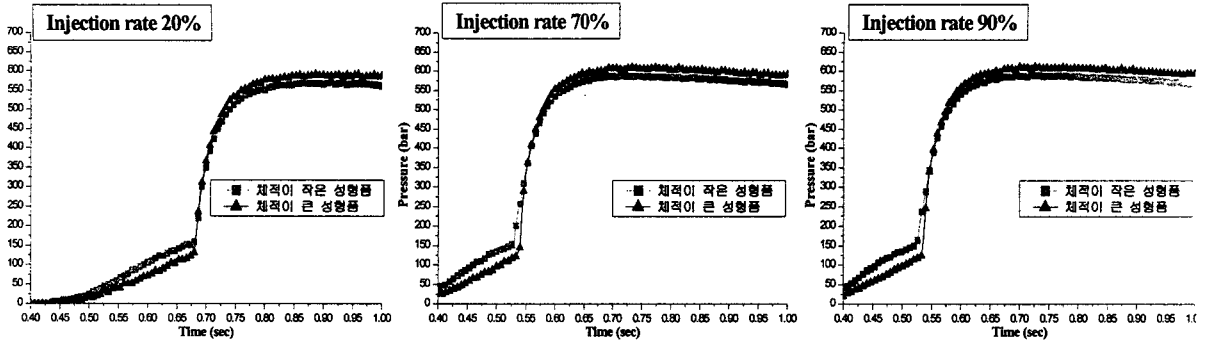


Fig. 17 The cavity pressure change according to injection speed.

중량편차, 등을 해결 할 수 있으며, 또한 금형 수명을 연장 시킬 수 있음을 알 수 있었다.

3.3 사출속도에 따른 충전밸런스영향

충전 밸런스가 이루어진 조건에서 사출성형 조건이 밸런스에 미치는 영향을 알기 위하여 사출속도를 변화하여 실험을 진행하였다. Fig. 16 과 Fig. 17 에서 보듯이 사출속도 변화에 따라 충전 밸런스에 변화가 생김을 알 수 있었다. 사출속도가 기준치인 70%보다 빠른 90%일 때와 Fig. 16 에 나타내지는 않았지만, 기준보다 느린 50%에서는 사출속도가 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 그러나 사출속도가 20%로 느릴 때는 충전이 불균형하게 형성됨을 알 수 있었다.

따라서 50%의 사출속도까지는 충전 불균형에 영향을 미치지 않음을 알 수 있다. 이러한 사출속도의 영향은 수치흐름이 가변러너를 통과하며 발생하는 전단율(shear rate)의 증가인하여 전단 가열(shear heating) 이 발생된다. 이 때문에 가변러너의 저항효과를 감소시키고, 수지의 점도저하를 일으킨다. 이러한 이유로 사출속도가 50%이상인 조건에서는 충전 불균형에 미치는 효과가 미약하지만, 사출속도가 50%이하인 경우에서는 가변러너 구간에서 수지가 점도 및 마찰열에 의한 저항효과를 크게 받지 않게 되어 두 캐비티 간의 충전 불균형이 크게 나타나게 됨을 알 수 있다.

4. 결론

가변러너를 이용하여 패밀리 금형에서 필연적으

로 발생하는 충전불균형을 개선하기 위한 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 패밀리 금형에서 발생하는 충전불균형을 가변 러너를 이용한 밸런싱을 통해 최적의 성형제품 생산을 구현하였다.

(2) 캐비티 온도 및 압력 센서를 이용한 실시간 모니터링을 통하여 성형품의 불량 및 품질 상태와 성형공정 상의 영향분석을 통하여 품질안정성을 확보하였다.

(3)가변러너는 느린 사출속도 일수록 더욱 효과적으로 충전 불균형을 해소시켜준다.

(4) 패밀리 금형에 가변 러너를 적용하였을 경우 밸런싱에 대한 우수한 효과를 얻을 수 있음을 알았다.

후 기

본 실험에 사용된 사출성형기를 지원해준 (주)우진세렉스에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] Moldflow™ software, trademark of Moldflow Pty, Ltd., Victoria, Australia.
- [2] J. Beaumont & J. Young, 1997, Mold filling imbalances in geometrically balanced runner systems, Journal of Injection Molding Technology, Vol.1, No.3, pp. 133~135.
- [3] J. P. Coulter, 2003, Cavity specific control of melt flow during injection molding processes, Conference proceedings of ASME International Mechanical

Engineering Congress & Exposition, Washington, D.C., Vol. 3.

- [4] M. R. Kamal, *et al.*, 1987, Dynamics and control of pressure in the injection molding of thermoplastics, *Polymer Engineering and Science*, Vol. 27, pp.1403~1410
- [5] D. Ksmer & P. Barkan, 1997, The process capability of multi-cavity pressure control for the injection

molding process, *Polymer Engineering and Science*, Vol. 37, No. 11, pp. 1880~1895.

- [6] S. Orzechowski, *et al.*, 1998, A Process Monitoring and Control System for Injection Molding using Nozzle-based Pressure and Temperature Sensors, *ANTEC*, Vol. 1
- [7] W. I. Patterson, 1990, Mold temperature measurement and control, *ANTEC*, pp.227~232.